

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Чумальчук Андрій Русланович

621.3.019.3

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ
СИСТЕМИ ЗРОШЕННЯ ШЛЯХОМ
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ЗБОРУ СТІЧНОЇ ПОЛИВНОЇ ВОДИ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Чумальчук А.Р.

Керівник роботи

Міненко С.В.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Чумальчук Андрій Русланович. Підвищення надійності та довговічності системи зрошення шляхом удосконалення технологічного процесу збору стічної поливної води – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню надійності та довговічності систем зрошування шляхом удосконалення технологічного процесу збору стічної поливної води. У роботі проаналізовано сучасні методи збору та утилізації стічної води в системах зрошування, виявлено основні причини зниження ефективності та довговічності обладнання. Запропоновано інноваційні технологічні рішення, які включають вдосконалення конструкції систем збору стічної води, оптимізацію гідравлічних схем та впровадження автоматизованих систем контролю. Розроблені рекомендації спрямовані на зменшення втрат води, підвищення енергоефективності та подовження терміну експлуатації зрошувальних систем. Результати роботи підтверджено експериментальними даними та можуть бути використані в сільськогосподарському виробництві для підвищення ефективності зрошувальних систем.

Ключові слова: системи зрошування, стічна поливна вода, надійність, довговічність, технологічний процес, гідравлічні схеми, автоматизація, енергоефективність.

ANNOTATION

Chumaliuk Andrii Ruslanovych. Improving the Reliability and Durability of Irrigation Systems through the Enhancement of the Technological Process of Collecting Irrigation Wastewater – Qualification Work in Manuscript Form.

Qualification work for obtaining a Bachelor's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work is devoted to improving the reliability and durability of irrigation systems by enhancing the technological process of collecting wastewater from irrigation. The study analyzes modern methods of collecting and utilizing wastewater in irrigation systems and identifies the main causes of reduced efficiency and equipment durability. Innovative technological solutions are proposed, including improvements in the design of wastewater collection systems, optimization of hydraulic schemes, and the implementation of automated control systems. The developed recommendations aim to reduce water losses, increase energy efficiency, and extend the service life of irrigation systems. The results are supported by experimental data and can be applied in agricultural production to enhance the efficiency of irrigation systems.

Keywords: irrigation systems, wastewater, reliability, durability, technological process, hydraulic schemes, automation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗБОРУ СТІЧНИХ ВОД В ТЕПЛИЦІ	10
РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	20
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ КЛАПАННОГО ВУЗЛА ШТАНГОВОГО НАСОСА.....	27
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40

ВСТУП

Сільське господарство є однією з ключових галузей економіки багатьох країн, зокрема України, де значна частина земель використовується для вирощування сільськогосподарських культур. Ефективне використання водних ресурсів у сільському господарстві відіграє вирішальну роль у забезпеченні високої врожайності та сталого розвитку аграрного сектору. Системи зрошування, які є основним інструментом для забезпечення рослин вологою, потребують постійного вдосконалення, оскільки їхня ефективність безпосередньо впливає на продуктивність сільськогосподарського виробництва. Одним із важливих аспектів функціонування таких систем є управління стічними поливними водами, які утворюються в процесі зрошування. Недостатня увага до збору, утилізації та повторного використання стічної води призводить до значних втрат водних ресурсів, забруднення ґрунтів і зниження надійності та довговічності зрошувальних систем. У зв'язку з цим актуальність теми дослідження, присвяченого підвищенню надійності та довговічності систем зрошування шляхом удосконалення технологічного процесу збору стічної поливної води, є беззаперечною.

Актуальність теми дослідження зумовлена кількома факторами. По-перше, зростання глобального попиту на сільськогосподарську продукцію вимагає інтенсифікації аграрного виробництва, що неможливо без ефективного використання водних ресурсів. У багатьох регіонах України, особливо в південних областях, де кліматичні умови характеризуються посушливістю, системи зрошування є критично важливими для забезпечення стабільних врожаїв. Однак значна частина стічної поливної води втрачається через неефективні методи збору та утилізації, що призводить до зниження продуктивності систем і підвищення витрат на їх експлуатацію. По-друге, екологічний аспект проблеми є не менш важливим. Неконтрольоване скидання стічної води може спричинити забруднення ґрунтів і водойм, що негативно впливає на довкілля та здоров'я населення. По-третє, сучасні зрошувальні

системи, які часто включають складні гідравлічні та електромеханічні компоненти, потребують високого рівня надійності та довговічності, щоб мінімізувати витрати на їх обслуговування та ремонт. Удосконалення технологічного процесу збору стічної води може значно зменшити навантаження на обладнання, підвищити його експлуатаційні характеристики та знизити ризик аварій. Таким чином, розробка нових технологічних рішень для збору стічної поливної води є актуальною як з економічної, так і з екологічної точки зору.

Мета даної роботи полягає у підвищенні надійності та довговічності систем зрошування шляхом розробки та впровадження удосконаленого технологічного процесу збору стічної поливної води. Для досягнення цієї мети необхідно комплексно підійти до аналізу сучасних методів управління стічними водами, виявлення основних проблем, пов'язаних із їх збором, та розробки інноваційних рішень, які б сприяли зменшенню втрат води, підвищенню ефективності роботи системи та подовженню терміну служби її компонентів. Удосконалення технологічного процесу збору стічної води передбачає не лише оптимізацію конструктивних елементів системи, а й інтеграцію сучасних методів автоматизації та контролю, що дозволить забезпечити стабільну роботу системи в різних умовах експлуатації.

Завдання дослідження сформульовано з урахуванням поставленої мети та включають:

1. Аналіз сучасного стану систем зрошування та методів збору стічної поливної води.
2. Визначення основних причин зниження надійності та довговічності зрошувальних систем, пов'язаних із неефективним збором стічної води.
3. Дослідження гідравлічних і технологічних характеристик існуючих систем збору стічної води.
4. Розробка пропозицій щодо вдосконалення конструкції систем збору стічної води.
5. Моделювання та експериментальна перевірка запропонованих рішень.

6. Впровадження автоматизованих систем контролю для підвищення ефективності збору стічної води.
7. Оцінка економічної та екологічної ефективності запропонованих технологічних рішень.
8. Розробка практичних рекомендацій щодо впровадження удосконаленого технологічного процесу в сільськогосподарське виробництво.

Об'єктом дослідження є системи зрошування, які використовуються в сільському господарстві для забезпечення рослин вологою. Ці системи включають комплекс гідравлічних, електромеханічних і автоматизованих компонентів, які забезпечують подачу, розподіл і збір води. Особлива увага в дослідженні приділяється технологічним процесам, пов'язаним із управлінням стічними поливними водами, які утворюються в процесі зрошування та потребують ефективного збору для повторного використання або утилізації.

Предмет дослідження – технологічний процес збору стічної поливної води, включаючи конструктивні, гідравлічні та автоматизовані елементи, які впливають на надійність і довговічність систем зрошування. Дослідження зосереджується на аналізі та вдосконаленні методів збору стічної води, спрямованих на зменшення втрат ресурсів, підвищення енергоефективності та подовження терміну експлуатації обладнання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їх використання в сільськогосподарському виробництві для підвищення ефективності зрошувальних систем. Запропоновані в роботі технологічні рішення, зокрема вдосконалені конструкції систем збору стічної води та автоматизовані системи контролю, дозволяють значно зменшити втрати води, що є критичним у регіонах із обмеженими водними ресурсами. Крім того, впровадження цих рішень сприяє зниженню експлуатаційних витрат за рахунок зменшення частоти ремонтів і заміни обладнання, а також підвищенню екологічної безпеки завдяки зниженню ризику забруднення ґрунтів і водойм. Результати дослідження можуть бути використані аграрними підприємствами,

проектними організаціями та виробниками зрошувального обладнання для модернізації існуючих систем і розробки нових, більш ефективних рішень.

У процесі дослідження використано комплексний підхід, який включає аналіз літературних джерел, математичне моделювання, експериментальні дослідження та оцінку економічної ефективності запропонованих рішень. У першому розділі роботи проведено огляд сучасних систем зрошування та методів збору стічної води, визначено їхні основні недоліки та перспективи вдосконалення. Другий розділ присвячено аналізу гідравлічних і технологічних параметрів систем збору стічної води, а також моделюванню процесів, які впливають на їхню ефективність. У третьому розділі представлено розроблені технологічні рішення, включаючи пропозиції щодо конструктивних змін і впровадження автоматизації. Четвертий розділ містить результати експериментальної перевірки запропонованих рішень, а також оцінку їхньої економічної та екологічної ефективності. У висновках узагальнено основні результати дослідження та сформульовано рекомендації щодо їх практичного впровадження.

Важливим аспектом роботи є акцент на інноваційності запропонованих рішень. Сучасні технології автоматизації, такі як датчики вологості, системи моніторингу та програмовані контролери, дозволяють значно підвищити ефективність збору стічної води, зменшуючи людський фактор і оптимізуючи роботу системи в реальному часі. Крім того, врахування екологічних вимог забезпечує відповідність запропонованих рішень сучасним стандартам сталого розвитку. Таким чином, робота не лише вирішує актуальну технічну проблему, але й сприяє розвитку екологічно орієнтованих технологій у сільському господарстві.

На завершення варто зазначити, що удосконалення технологічного процесу збору стічної поливної води є важливим кроком на шляху до створення ефективних, надійних і довговічних систем зрошування. Результати дослідження мають як теоретичне, так і практичне значення, оскільки вони відкривають нові можливості для модернізації зрошувальних систем,

підвищення їхньої продуктивності та зниження негативного впливу на довкілля. Впровадження запропонованих рішень сприятиме сталому розвитку сільського господарства, що є особливо важливим в умовах зміни клімату та зростання попиту на продовольство.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В.М., **Чумальчук А.Р.**, Туринський В.Д., Макарчук О.О., Гулюк Я.В., Гетьман В.О. Перспектива розвитку тепличного господарства в Україні. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 315-316.

2. Савченко В.М., **Чумальчук А.Р.**, Туринський В.Д., Макарчук О.О., Гулюк Я.В., Гетьман В.О. Сучасна теплиця: перспективні конструкції, матеріали та технології. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції, 3-4 квітня 2025 р., м. Луцьк: Луцький НТУ, 2025. С. 9-10.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 21 найменування. Загальний обсяг роботи становить 41 сторінку комп'ютерного тексту, містить 2 рисунки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗБОРУ СТІЧНИХ ВОД В ТЕПЛИЦІ

1.1 Сучасні типи систем збору стічних вод

1.1.1 Дренажні системи

У тепличному господарстві дренажні системи відповідають за збір відпрацьованої води з підлоги, рослинних лотків і трубопроводів. У сучасних промислових комплексах застосовують закритий технологічний дренаж: підлога робиться з невеликим ухилом до збірних жолобів, каналів та підземних труб, які направляють стоки до очисних споруд або накопичувальних ємностей. Закритий дренаж повністю ізолює стоки від ґрунту і гарантує їхній повний збір. Зібрані дренажні води зазвичай спрямовують одразу до очисних модулів чи бака для проміжного зберігання. До таких систем належать і сучасні пристрої зі збором дощової води з покрівлі: зібрана з даху вода перенаправляється або у зовнішню зливову мережу, або у локальні резервуари, що дозволяє використовувати дощову воду для зрошення (особливо у сезон злив). Таким чином до загальної системи включають і атмосферні стоки[2].

Крім основних трубопроводів, до системи дренажу входять допоміжні елементи: насосні станції для підйому води на необхідний рівень, автоматичні клапани та контрольні воронки. Наприклад, внутрішні воронки на даху теплиці можуть збирати дощову і талу воду – через них стоки спрямовуються або у загальноміську зливову мережу, або безпосередньо у накопичувальні резервуари на території комплексу. Таке рішення дає змогу використовувати дощову воду для поливу без змішування з ґрунтовими, а також запобігає перевантаженню міської мережі під час зливи. У конструктивному плані застосовують жорсткі нахилені жолоби та герметичні з'єднання, щоб уникнути втрат води. Згідно з ДБН, дренаж теплиць має «забезпечувати своєчасне відведення стічних вод... та запобігати забрудненню ґрунтових вод пестицидами та мінеральними добривами». У закритих системах ця норма виконується автоматично, оскільки вся стічна вода проходить очищення[1].

Розрізняють поверхневий та трубчастий дренаж. У поверхневій системі вода збирається жолобами та ґратами, тоді як трубчастий дренаж передбачає прокладення труб у піску чи геоматеріалі під підлогою теплиці. В обох випадках проєктують резервні канали для випадку засмічення основної системи. Наприклад, у великих теплицях кладуть дублюючі труби чи канали – якщо одна лінія заб’ється, вода перетече в резервний жолоб. Конструкцію підлоги роблять із гідроізолюючою сумішшю або пластиковим покриттям, щоб не було просочування води в ґрунт. Застосування таких технологій відповідає передовим світовим практикам водозбереження[4].

1.1.2 Накопичувальні системи

Накопичувальні системи – це баки і резервуари для тимчасового зберігання зібраної води перед її очищенням або повторним використанням. Їх встановлюють, щоб вирівняти пік навантаження на систему поливу і надати час для відстоювання забруднень. Резервуари можуть бути надземними чи підземними, виконаними з пластику, металу чи залізобетону, з арматурою та герметичними стенками. Наприклад, у сучасних тепличних проєктах застосовують горизонтальні або вертикальні баки місткістю від 10 до 160 м³. Бак на 160 м³ часто вказують як добовий резерв води для великої теплиці (достатньо для приготування поживних розчинів і нічного зволоження) [3].

Важливо обладнати накопичувальні ємності системами контролю – переповнення та вимірювання рівня. Зазвичай встановлюють плаваючі поплавки, датчики тиску або ультразвукові датчики рівня, щоб уникнути переливу. Більші резервуари зв’язують з насосними станціями, які автоматично перекачують воду на фільтрацію по мірі потреби. При проєктуванні обсягу резервуарів враховують сумарний дебіт стоків, проміжок між поливами та потенційний режим поливу (крапельний чи затоплювальний). Наприклад, у зонах з нерегулярними опадами роблять більший запас і додаткові баки[7].

Деякі ємності обладнують відстійниками (сепараторами) – зонами з повільним рухом, де осідає важкий мул. Це знижує навантаження на наступні

фільтри. Конструкція баків передбачає і аварійні відкачування: якщо система фільтрації відмовляє, надлишок води можна скинути в аварійну шахту або короткочасно скидати у збірну каналізацію. Загалом накопичувальні системи забезпечують стабільність водопостачання: навіть при відключенні свіжого водозабору теплиця може ще кілька циклів працювати за рахунок запасу[8].

1.1.3 Системи фільтрації та очищення

Після збору стічні води спрямовують у системи багатоступеневої фільтрації. Перший етап – груба фільтрація: через сітчасті або щілинні фільтри затримуються крупні частинки, залишки субстрату і рослинні залишки. Такі фільтри роблять промивними – їх час від часу пропускають зворотним потоком води. Наступний етап – тонке очищення: вода проходить через піскові фільтри, сорбенти (активоване вугілля) або мембранні установки. Ці фільтри видаляють дрібні домішки, колоїдний мул, а за потреби – солі та важкі метали. Наприклад, фільтри тонкого очищення можуть включати у себе нанофільтрацію або зворотний осмос для досягнення високої чистоти[9].

Після цього очищену воду подають на знезараження. Зазвичай використовують ультрафіолет (УФ) чи озон, які вбивають патогени, не залишаючи шкідливих хімічних речовин у воді. Так, система Priva Vialux (описана вище) обробляє воду УФ-лампкою після механічних фільтрів. Інші системи додатково використовують озон – потужний окисник, що руйнує мікрополіруючі органічні сполуки. Проте треба мати на увазі, що кожна технологія має свої плюси і мінуси: ультрафільтраційна мембрана ефективно відсіює майже всі забруднення, але потребує регулярної промивки; озон відмінно руйнує органіку, але дорогий в експлуатації; УФ-лампа просто інтегрується, але менш ефективно працює в дуже мутній воді. У складних системах застосовують їх комбінації – наприклад, спочатку фільтрація і сорбенти, потім УФ і наприкінці невелике додавання хлору. Результатом є вода, безпечна для рослин і навколишнього середовища[10].

1.2 Ефективність систем і технологічні рішення

Системи збору і рециркуляції стоків у теплиці значно підвищують ефективність використання води і добрив. Згідно з оцінками фахівців, вдала реалізація замкненого циклу може скоротити споживання води в декілька разів порівняно з відкритим поливом (drain-to-waste), де близько 80–90% води втрачається. Наприклад, у передових тепличних комплексах низька частка свіжої води – лише 10–20% – забезпечує оновлення системи, а решта повертається до рослин. Це особливо важливо в посушливих регіонах і при зростаючих тарифах на воду. Водночас економія поширюється і на поживні елементи: оскільки основна частина доданого азоту, фосфору, калію залишаються в обороті, фермер заощаджує на купівлі дорогих добрив. За розрахунками, скорочення використаних добрив і води здатне компенсувати більшість витрат на обладнання за кілька років експлуатації[11].

Технічні рішення у цих системах постійно вдосконалюються. Так, сучасні теплиці обладнують автоматикою мікроклімату та поливу, де датчики контролю (електропровідності розчину, рівня рН, температури) з'єднані з контролерами дозування. Це дає можливість вести онлайн-моніторинг складу живильного розчину та оперативно корегувати рециркуляцію. Наприклад, якщо датчики фіксують підвищення концентрації солей (ЕС), система автоматично додає відсоток свіжої води або активує додаткові фільтри. Сучасні рішення включають і цифрові протоколи – GPS-синхронізацію, історію даних тощо, для ще точнішої оптимізації[12].

Конструктивно системи дренажу та рециркуляції включають насосні станції відповідної потужності, групи клапанів та резервуари. Усередині теплиці прокладають герметичні жолоби і канали (часто з бетону, ПВХ чи поліпропілену), що витримують агресивні поживні розчини. Герметичні матеріали повністю запобігають просочуванню стоків у ґрунт. При проєктуванні передбачають і аварійні заходи: якщо контур переповнений або відбувається збій (відмова насоса, засмічення фільтра), надлишок рідини спускають у локальні каналізаційні резервуари або на зовнішній скид (за

нормативами з особливою очисткою). Це гарантує стабільність роботи: вода ніде не застоюється[13].

Прикладом технологічного рішення є система Priva: дренажні стоки подають у «брудний» бак, далі через механічні і сорбційні фільтри – і тільки потім вода дезінфікується УФ-лампою Priva Vialux перед тим, як повернутися у «чистий» бак. Така схема забезпечує безперервну і безпечну рециркуляцію. Загалом, впровадження цих рішень вимагає високого рівня інженерії, але і дає відчутний результат: за підрахунками фахівців, у деяких проєктах рециркуляція зменшила потребу в новій воді на 70–80%.

1.3 Повторне використання зібраної води

Після очищення накопичені стічні води використовують повторно для поливу. Створюють фактично замкнений цикл води в теплиці. Система функціонує так: очищена вода потрапляє у резервуар чистої води або безпосередньо у магістраль поливу, де її змішують з необхідним об'ємом концентрату добрив. При цьому велика частина об'єму чергового поливу формується саме з рециркульованої води, а лише ~10–20% обсягу складає свіжа вода для поповнення балансу. Як вже згадувалося, система Priva є прикладом: після фільтрації і дезінфекції вся вода повертається в головний бак, де додаються дозовані добрива[14].

Загалом методи повторного використання можуть різнитися: у простих схемах очищену воду прямо повністю подають на полив того самого поля. Інші проєкти розділяють потоки: частину очищеної води перекидають у додатковий контур (для поливу підсобних культур чи охолодження), а частину – далі фільтрують чи використовують у сусідніх господарствах. Деякі еко-інновації передбачають вирощування водоростей на базі тепличних стоків – тоді очищені водні ресурси слугують середовищем для біопроцесу, а отримана біомаса додатково поповнює дохід ферми[15].

1.3.1 Методи повторного використання

- Крапельне поливання із заміщенням: очищену воду безпосередньо повертають у систему крапельного поливу разом із концентратом добрив, підтримуючи заданий рівень рН/ЕС. Таким чином значна частина води використовується повторно, а свіжої додають мінімально необхідний обсяг.

- Гравітаційно-поетапна подача: очищену воду направляють у резервуар-попередник, а потім подають у головний бак поливу – за схемою двох ємностей. Це дозволяє накопичувати «надлишки» та уникати раптових стрибків у концентрації.

- Вторинні технічні потреби: частину очищеної води спрямовують на допоміжні задачі – наприклад, для технічного миття устаткування, поливу службових зон або наповнення котлів (як є водяний контур). Це підвищує загальну ефективність використання[16].

1.3.2 Переваги та недоліки

Переваги систем рециркуляції:

- Значна економія води. Завдяки замкненому циклу можна скоротити витрату прісної води на десятки відсотків. Це особливо важливо в регіонах з обмеженим водопостачанням. Наприклад, у деяких опитуваннях тепличників відзначалося зменшення потреби в свіжій воді до 30–40%, що прямо скорочує витрати.

- Збереження добрив. Всі внесені мінерали, що містилися в поливних розчинах, залишаються в обігу. Як підкреслює спеціаліст з технологій, «дорогі добрива не змиваються у каналізацію», а більшість елементів повертається у живильний розчин. Це дає суттєву економію: якщо за звичайного поливу 20–30% добрив губляться, то при рециркуляції їх вартість скорочується майже у два рази.

- Екологічність. Мінімізуючи скид стоків, знижується забруднення водою надлишком азоту, фосфору та агрохімікатами. Цей підхід повністю відповідає екологічним вимогам: наприклад, українські будівельні норми вимагають повного очищення промивних стоків теплиць у водонепроникних ємностях, що

і реалізує замкнута система. Крім того, зменшується вуглецевий слід виробництва за рахунок зниження потреби в енергії для водозабезпечення.

- **Покращена стабільність.** Постійне повторне використання води допомагає підтримувати сталість мікроклімату і харчування рослин, що позитивно впливає на врожайність. За спостереженнями, господарства, які впровадили інноваційні водні рішення (включаючи рециркуляцію), демонструють помітно вищу врожайність[18].

Недоліки систем рециркуляції:

- **Висока складність та вартість.** Монтаж комплексної системи з накопичення, насосів, багатоступеневої очистки і знезараження потребує значних інвестицій. Окрім капітальних витрат, потрібна регулярна експлуатація: електроенергія для насосів і УФ-ламп, заміна фільтрів, обслуговування датчиків тощо. В цілому період окупності системи рециркуляції становить кілька років, залежно від цін на воду і добрива.

- **Технічні ризики.** Закрита система може призвести до накопичення патогенів або токсичних речовин при неправильній експлуатації. Якщо система дезінфекції або фільтрації виходить з ладу, можуть відбуватися зсуви концентрацій і виникати «гарячі точки» забруднення. Тому критично важливо мати аварійні засоби (переливи, резервні насоси, незалежні системи моніторингу) – це мінімізує ризик втрати урожаю при збої.

- **Накопичення домішок.** З часом у циркулюючій воді може зростати концентрація нерозчинних солей, мікроелементів чи залишкових барвників. Щоб їх не накопичувати, системи періодично доповнюють свіжою водою (flush) або застосовують спеціальні технології очищення (наприклад, іонообмінні смоли, зворотний осмос) для регенерації[17].

1.4 Екологічні та економічні аспекти

З екологічного погляду системи збору та рециркуляції стоків суттєво знижують негативний вплив тепличного виробництва на довкілля. Завдяки замкнутому циклу мінімізуються скидні стоки з шкідливими речовинами (азот,

фосфор, пестициди), що запобігає евтрофікації водойм і забрудненню ґрунтових вод. Наприклад, згідно з будівельними нормами, всі води, що містять залишки пестицидів, мають обов'язково очиститись у водонепроникних ємностях – завдання, яке вирішується системами повної рециркуляції. Крім того, регіональні норми ЄС (Regulation 2020/741) встановлюють мінімальні критерії якості очищених стічних вод для зрошення сільськогосподарських угідь. Цей документ заохочує розробку технологій очищення для безпечного повторного використання води. Таким чином, впровадження замкнених систем у теплицях знаходиться у руслі екологічних реформ[19].

З економічної точки зору впровадження таких систем виправдане довгостроковою економією. Незважаючи на великі початкові витрати, експлуатаційні заощадження суттєві: витрати на купівлю прісної води та внесення добрив значно знижуються. За даними досліджень, вартість очищення одного кубометру стічної води для повторного використання часто виявляється нижчою за вартість такої ж кількості придбаної води. До того ж, накопичений ефект може бути збільшений за рахунок державної підтримки: в Україні та ЄС існують програми субсидій і грантів на проекти “зелених” технологій, у тому числі на модернізацію водопостачання і водоочищення. Таким чином, у середньостроковій перспективі вкладення в системи рециркуляції окупаються з огляду на економію ресурсів і підвищення рентабельності теплиці[20].

1.5 Приклади впровадження в Україні та за кордоном

1.5.1 Приклади за кордоном

За кордоном закриті системи водозабезпечення у теплицях стали звичною справою. В Ізраїлі майже всі високотехнологічні теплиці працюють за схемою 100% рециркуляції стоків, що дозволяє мінімізувати використання рідкісної прісної води. У Нідерландах великі тепличні кластери об'єднують водозабезпечення підприємств. Зокрема, проєкт Nieuw-Prinsenland охоплює 160 га теплиць, де централізована установка очищення обробляє стоки всіх господарств: вода проходить фільтрацію та передове окислювальне очищення,

після чого повертається для повторного поливу. Це забезпечує максимально ефективне використання ресурсів між сусідніми підприємствами[21].

В Іспанії і Греції системи рециркуляції особливо цінні в умовах посушливого клімату. Так, деякі тепличні комплекси Гран Канарії практично повністю перейшли на повторне використання води: вони встановили резервуари для збору дощової води, комплексну очистку дренажу й автоматизовані лінії підживлення. Результатом стало зменшення споживання свіжої води на 50–70% і підвищення врожайності при стабільному якості продукції[22].

У Великій Британії також з'являються технологічні ініціативи. Проєкт Low Carbon Farming (16 га теплиць) використовує відпрацьоване тепло й стічні води місцевої очисної станції для обігріву парників. Вода при цьому служить не тільки як джерело CO₂ для рослин, а й як тепловий акумулятор. Застосування цих рішень допомогло знизити викиди CO₂ приблизно на 75% (основне зниження відбулося завдяки відмові від газового опалення). Хоча це комплекс з енергозбереження, він ілюструє інтеграцію водних і енергетичних циклів для максимальної ефективності[8].

1.5.2 Приклади в Україні

В Україні впровадження комплексних систем повторного використання води ще на ранній стадії, але окремі приклади з'являються. Деякі фермерські підприємства впровадили елементи рециркуляції: наприклад, влаштували накопичувальні баки для дощової та дренажної води і підключили до власних свердловин, щоб знизити навантаження на водопостачання. Перші польові дані свідчать, що такі заходи вже призводять до помітної економії ресурсів – фермери відзначають зменшення витрат води та добрив і водночас зростання врожайності. Згідно з оцінками агрономів, економія може становити десятки відсотків і вистачає 1–2 сезонів, щоб компенсувати витрати на обладнання. Крім того, агрохолдинги, що впроваджують закриті цикли, отримують додаткові переваги в експорті: екологічна сертифікація і менші витрати на

логістику роблять їхню продукцію конкурентнішою на світовому ринку[13].

Слід зауважити, що на державному рівні також стимулюють впровадження таких технологій. Українські програми розвитку агросектора включають гранти на енерго- та водозбереження, що охоплюють системи очищення стоків. Крім того, європейська інтеграція вимагає приведення стандартів водокористування у відповідність з нормами ЄС (зокрема з Регламентом 2020/741), що змушує тепличників переходити на більш ефективні системи. Тож, хоча повні замкнені цикли поки що рідкість, вони вже сприймаються як пріоритетні інновації для індустрії[21].

Висновок. Системи збору стічних вод у теплицях об'єднують інженерні й агрономічні рішення. Поєднання закритого дренажу, великих накопичувальних резервуарів та багатоетапних систем очищення забезпечує стаке і економне водопостачання. Практика показує: такі системи значно знижують використання прісної води та добрив, а також убезпечують довкілля від забруднень. Разом з тим реалізація передбачає серйозні інвестиції і технічні вимоги, тому важливим є баланс між перевагами (економія, екологія, рентабельність) і витратами. Але переваги закритого водозабезпечення майже повністю відповідають викликам сучасності, тому їхнє впровадження визнається перспективним для майбутнього українського тепличного виробництва[18].

РОЗДІЛ 2

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Тепличні комплекси є невід’ємною частиною сучасного сільського господарства, забезпечуючи вирощування сільськогосподарських культур у контрольованих умовах незалежно від пори року. Вони дають змогу отримувати високі врожаї, покращувати якість продукції та забезпечувати стабільне постачання свіжих овочів, фруктів і зелені на ринки. Однак ефективність роботи теплиць значною мірою залежить від стану їхнього робочого обладнання, яке включає системи опалення, вентиляції, зрошення, освітлення та автоматизації. Надійність і довговічність цього обладнання є ключовими факторами, що визначають успіх тепличного господарства. Будь-які збої в роботі систем можуть призвести до значних втрат урожаю, зростання витрат на ремонт і заміну, а також негативного впливу на екологію через неефективне використання ресурсів. Тому забезпечення надійності та довговічності обладнання тепличних комплексів є критично важливим завданням, яке потребує комплексного підходу: від правильного вибору матеріалів і проектування до регулярного обслуговування та впровадження сучасних технологій моніторингу[11].

У цьому контексті важливо розуміти, що тепличне обладнання працює в специфічних умовах — високій вологості, перепадах температур, агресивному хімічному середовищі, що створює додаткові виклики для його експлуатації. Щоб подолати ці виклики, необхідно враховувати як технічні, так і організаційні аспекти, спрямовані на підвищення стійкості обладнання до зносу та поломок. Ця стаття розглядає актуальність теми, основні проблеми, методи підвищення надійності, їхній вплив на довговічність, а також практичні приклади успішного застосування таких підходів у тепличних комплексах[16].

Підвищення надійності та довговічності робочого обладнання тепличних комплексів має величезне значення з кількох причин, які охоплюють економічні, екологічні та соціальні аспекти[17].

Економічний аспект

Сучасні тепличні комплекси є високотехнологічними об'єктами, де обладнання становить значну частину інвестицій. Вихід з ладу навіть однієї системи — наприклад, опалення чи зрошення — може зупинити виробничий процес, що призведе до втрати врожаю та значних фінансових збитків. Ремонт або заміна обладнання також потребують додаткових витрат, які можна було б уникнути за умови підвищення його надійності. Довговічне обладнання дозволяє знизити частоту таких витрат, забезпечуючи стабільну роботу теплиці та прогнозованість доходів[18].

Екологічний аспект

Тепличні комплекси споживають значну кількість ресурсів — електроенергії, води, тепла. Несправне або неефективне обладнання може призводити до надмірного використання цих ресурсів, що негативно позначається на довкіллі. Наприклад, поломка системи вентиляції може спричинити перегрів, що потребуватиме додаткового охолодження та витрат енергії. Підвищення надійності обладнання сприяє більш раціональному використанню ресурсів, знижуючи екологічний слід тепличного господарства[19].

Соціальний аспект

У контексті глобальних викликів, таких як зміна клімату та зростання населення, теплиці відіграють важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки. Надійне обладнання гарантує безперебійне постачання свіжої продукції, що особливо важливо для регіонів із несприятливими кліматичними умовами. Таким чином, підвищення надійності та довговічності обладнання теплиць має не лише локальне, а й глобальне значення[13].

Робоче обладнання тепличних комплексів зазнає впливу низки факторів, які можуть призводити до його поломок і скорочення терміну служби. Основні проблеми включають:

1. Корозія

Висока вологість і присутність хімічних речовин (наприклад, добрив) у тепличному середовищі сприяють корозії металевих компонентів. Це особливо актуально для систем зрошення, опалення та вентиляції, де металеві деталі постійно контактують із водою та агресивними сполуками.

2. Механічний знос

Постійна робота обладнання, особливо рухомих частин (вентиляторів, насосів, клапанів), призводить до їх поступового зношування. З часом це може спричинити зниження ефективності або повну зупинку роботи.

3. Неправильне обслуговування

Недостатня увага до регулярного чищення, змашування чи заміни зношених деталей часто стає причиною накопичення проблем. Наприклад, забруднення фільтрів у системі вентиляції може призвести до перегріву двигунів.

4. Недоліки проектування

Використання матеріалів, не адаптованих до тепличних умов, або помилки в конструкції обладнання можуть значно скоротити його термін служби. Наприклад, пластикові труби низької якості можуть тріскати при перепадах температур.

5. Екстремальні умови експлуатації

Коливання температури, вологості, а також вплив ультрафіолетового випромінювання (у разі використання прозорих покриттів) прискорюють деградацію обладнання, особливо якщо воно не розраховане на такі навантаження.

Ці проблеми є взаємопов'язаними, і їхнє вирішення потребує комплексного підходу, який охоплює як технічні, так і управлінські аспекти[14].

Методи підвищення надійності

Для забезпечення стабільної роботи обладнання тепличних комплексів застосовуються різноманітні методи, спрямовані на зменшення ризиків поломок і подовження терміну служби. Ось основні з них:

1. Вибір матеріалів

Використання корозійностійких матеріалів, таких як нержавіюча сталь, алюміній або пластики високої якості, значно знижує ризик корозії та механічного пошкодження. Наприклад, заміна сталевих труб на труби з нержавіючої сталі може подовжити термін служби системи зрошення.

2. Оптимізоване проектування

Розробка обладнання з урахуванням специфіки тепличного середовища — високої вологості, температурних коливань, хімічної агресивності — дозволяє уникнути конструктивних недоліків. Наприклад, герметизація електричних компонентів захищає їх від вологи.

3. Регулярне обслуговування

Система планового технічного обслуговування, що включає чищення, змащування, перевірку та заміну зношених деталей, є основою для запобігання несподіваним поломкам. Наприклад, регулярна заміна фільтрів у вентиляційних системах знижує навантаження на двигуни.

4. Моніторинг стану

Використання датчиків і систем моніторингу в реальному часі дозволяє відстежувати параметри роботи обладнання (температуру, вологість, вібрацію) і виявляти проблеми на ранніх етапах. Це дає змогу вчасно вжити заходів, не допускаючи серйозних збоїв.

5. Автоматизація

Впровадження автоматизованих систем управління зменшує вплив людського фактора, який часто є причиною помилок. Наприклад, автоматичне регулювання зрошення оптимізує подачу води, знижуючи знос насосів.

6. Навчання персоналу

Підвищення кваліфікації працівників, які обслуговують обладнання, забезпечує правильну експлуатацію та своєчасне виявлення проблем. Добре підготовлений персонал може значно знизити ймовірність поломок через неправильне використання техніки[12].

Комплексне застосування цих методів дозволяє не лише підвищити надійність обладнання, а й оптимізувати його роботу, що позитивно впливає на весь тепличний комплекс[18].

Вплив на довговічність

Методи підвищення надійності мають прямий вплив на довговічність обладнання, оскільки вони усувають або мінімізують основні причини його деградації. Розглянемо, як це працює:

Корозійностійкі матеріали: Зменшення корозії подовжує термін служби металевих компонентів, таких як труби, клапани чи кріплення. Наприклад, нержавіюча сталь може витримувати вологе середовище теплиць протягом десятиліть без значних пошкоджень[3].

Регулярне обслуговування: Своєчасне виявлення та усунення дрібних дефектів запобігає їх переростанню в серйозні поломки. Наприклад, заміна зношених підшипників у вентиляторах подовжує термін служби всієї системи.

Моніторинг: Контроль стану обладнання дозволяє уникати перевантажень і оптимізувати його роботу. Наприклад, датчики вібрації можуть сигналізувати про необхідність ремонту насоса до того, як він вийде з ладу.

Автоматизація: Зниження впливу людських помилок і оптимізація режимів роботи обладнання зменшують його знос. Автоматизоване зрошення, наприклад, запобігає надмірному тиску в системі, що подовжує життя насосів.

Навчання персоналу: Правильна експлуатація знижує ризик механічних пошкоджень через недбалість чи незнання[14].

У результаті ці заходи не лише подовжують термін служби обладнання, а й зменшують витрати на його ремонт і заміну. Крім того, довговічне обладнання сприяє більш сталому використанню ресурсів, що має екологічні

переваги. Наприклад, рідша заміна техніки знижує кількість відходів і потребу в нових матеріалах[16].

Практичні приклади

Реальні приклади демонструють ефективність методів підвищення надійності та довговічності обладнання в тепличних комплексах:

1. Нержавіюча сталь у Нідерландах

У великому тепличному комплексі в Нідерландах усі сталеві труби системи зрошення були замінені на нержавіючу сталь. Це знизило рівень корозії на 80% і подовжило термін служби системи на 30%, скоротивши витрати на ремонт.

2. Моніторинг у США

У теплиці в Каліфорнії встановили систему моніторингу температури та вологості, що дозволила вчасно виявляти перегрів обладнання. Завдяки цьому кількість поломок систем вентиляції скоротилася на 25% протягом року.

3. Автоматизація в Іспанії

У тепличному господарстві в Альмерії (Іспанія) впровадили автоматизовану систему зрошення. Це оптимізувало подачу води, знизило знос насосів і подовжило їхній термін служби на 20%, одночасно заощадивши 15% води.

4. Навчання персоналу в Україні

У теплиці на Київщині провели тренінги для працівників із правильного обслуговування систем вентиляції. Як результат, кількість поломок через неправильну експлуатацію скоротилася на 15% за рік.

5. Проектування в Японії

У тепличному комплексі в Японії обладнання для освітлення було спроектовано з урахуванням високої вологості та ультрафіолетового випромінювання. Використання герметичних світлодіодних ламп подовжило їхній термін служби на 40% порівняно зі стандартними моделями.

Ці приклади показують, що навіть окремі заходи можуть мати значний ефект, а їхнє поєднання забезпечує ще кращі результати[18].

Висновки

Підвищення надійності та довговічності робочого обладнання тепличних комплексів є багатогранним завданням, яке потребує системного підходу. Використання корозійностійких матеріалів, оптимізоване проектування, регулярне обслуговування, моніторинг, автоматизація та навчання персоналу є ключовими методами, які дозволяють досягти цієї мети. Ці заходи не лише знижують ризик поломок, а й подовжують термін служби обладнання, що призводить до економії ресурсів, зменшення витрат і підвищення екологічної стійкості тепличних господарств[15].

Практичні приклади з різних країн підтверджують ефективність цих методів, демонструючи реальні економічні та екологічні переваги. У майбутньому розвиток нових матеріалів, технологій моніторингу та автоматизації відкриває ще більше можливостей для вдосконалення обладнання теплиць. Постійне вдосконалення технологій і підходів до експлуатації є запорукою сталого розвитку сільського господарства, яке здатне відповідати на виклики сьогодення та забезпечувати продовольчу безпеку для наступних поколінь[16].

Цей комплексний підхід до підвищення надійності та довговічності обладнання тепличних комплексів є не просто технічною необхідністю, а стратегічним кроком до створення ефективного, економічного та екологічно відповідального сільського господарства[14].

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ КЛАПАННОГО ВУЗЛА ШТАНГОВОГО НАСОСА

Аналіз літературних даних показує, що чинники, які впливають на показники надійності для ремонтпридатного обладнання, визначено, і їх можна подати в табличній формі (таблиця 3.1).

Опрацювання фактичних даних роботи роторів показує, що середнє напрацювання на відмову і середній ресурс до капітального ремонту роторів, які експлуатуються, нижчі від значень, закладених у технічні умови на ці вироби.

Таблиця 3.1 - Фактори, що впливають на надійність клапанного вузла та структури.

Фактори	Прояв чинників	Показники оцінки факторів за період	
		Припрацювання	Нормальної експлуатації
Досконалість конструкції	Раціональний розподіл навантажень і матеріалу	Імовірність безвідмовної роботи, параметр потоку відмов, коефіцієнт готовності	-
Якість виготовлення	Технологічні процеси забезпечення необхідних властивостей, методи обробки, досягнення точності та складання виробу	Параметр потоку відмов, експлуатаційний ресурс	-
Досконалість вимірювальних засобів	Своєчасне і повне виявлення несправностей		

Ремонтопридатність	Пристосованість до обслуговування та ремонту	Імовірність безвідмовної роботи, параметр відмов	Середня тривалість позапланового та планового ремонту
Рівень обслуговування	Кваліфікація, старанність	Імовірність безвідмовної роботи, параметр відмов	Середня тривалість позапланового та планового ремонту
Ефективність системи планово-попереджувальних ремонтів	Терміни та обсяг проведення планово-попереджувальних ремонтів	-	Коефіцієнт готовності, параметр потоку відмов
Якість ремонту	Перевірка і заміна дефектних деталей	-	Показники технічного стану, коефіцієнт готовності.

Основними елементами, що призводять до виходу з ладу клапанного вузла, є знос пари сідло-клапан, що зі свого боку призводить до виходу з ладу клапанного вузла і всього насоса загалом.

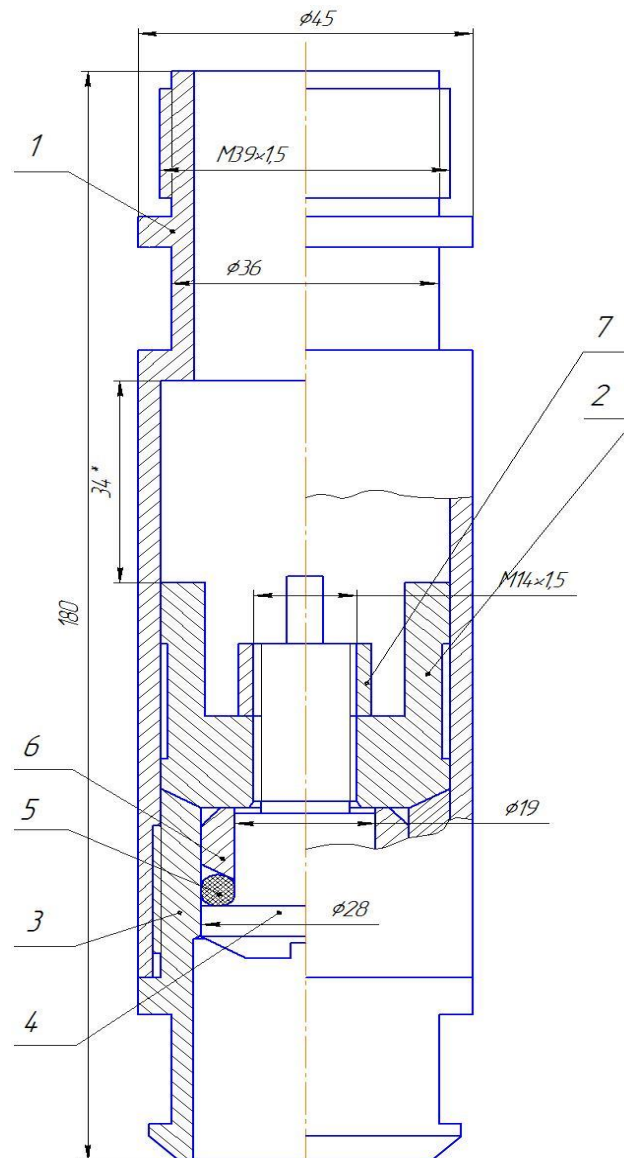
Клапан призначений для запобігання підйому насосних труб із рідиною внаслідок неможливості зриву вузла всмоктувального клапана з посадкового конуса.

Область застосування клапана:

- 1) відкачування в'язких рідин зі свердловин;
- 2) відкачування рідин зі свердловин, де вільний газ різко знижує коефіцієнт наповнення насоса, внаслідок чого доводиться експлуатувати насоси з великими зануреннями під динамічний рівень;
- 3) експлуатація свердловин із високим коефіцієнтом продуктивності, у яких зменшення занурення насоса, що перебуває на граничній глибині, здатне призвести до істотного збільшення припливу рідини до вибою;
- 4) експлуатація свердловини, де спостерігається підкидання посадкового конуса зі зривом його із сідла;

5) у свердловині, де відкладення АСП і солей швидко забивають проточні канали клапанів насосів.

Всмоктувальний клапан на рис. 3.1 складається з корпусу 1 і сідла 3 з осьовим циліндричним отвором для проходу рідини. У порожнині корпусу 1 встановлена з можливістю осьового переміщення і контакту з наполегливою поверхнею корпусу 1 та сідлом 3 тарілка 4 з центратором 2. На зовнішній циліндричній поверхні центратора 2 виконані виступи у вигляді лопатей, розташовані під кутом до утворюючої циліндричної поверхні. Тарель 4 при закритому положенні клапана сполучена з циліндричною поверхнею отвору сідла 3 і забезпечена в зоні сполучення кільцем 5 і втулкою 6.



1- корпус; 2 - центратор; 3 - сідло; 4 - тарілка; 5 - кільце; 6 - втулка; 7 - гайка;

Рис. 3.1 - Удосконалений клапан

Клапан працює таким чином.

Клапан жорстко кріпиться до циліндра насоса, опускається в свердловину, і насос пускається в роботу. Крайнє верхнє положення тарелі 4 (клапан відкритий) і крайнє нижнє положення тарелі 4 (клапан закритий) обмежується відповідними наполегливими поверхнями корпусу 1 і сідла 3. У момент закриття клапана спочатку тарель 4 входить у зіткнення з внутрішньою поверхнею сідла 3, відбувається первісна герметизація зони всмоктування від зони нагнітання. За рахунок перепаду тиску тарель 4 рухається вниз до упору центратора 2 на наполегливу поверхню сідла 3. При цьому в момент руху тарелі 4 донизу кільце 5 втоплене в канавці, утвореній тарілкою 4 і втулкою 6, і не контактує із сідлом 3. У міру зростання тиску в зоні нагнітання і зростання витоків втулка 6 починає тиснути на кільце 5 і, розпираючи його, притискає до сідла 3, чим запобігають витокам через клапан. Таким чином, кільце входить у контакт із сідлом 3 лише в нерухомому стані тарелі 4, чим запобігає інтенсивному зносу кільця 5.

У момент всмоктування під час руху рідини в корпусі 1, коли вона проходить між виступами центратора 2, на центраторі виникає обертальний момент.

У результаті тарель 4 повертається на певний кут. Таким чином, точки взаємного зіткнення тарелі 4 і сідла 3 послідовно змінюються. Це важливо в тих випадках, коли свердловинний насос працює на похилих місцевостях розташування теплиць, тобто відбувається інтенсивний знос тільки однієї зі сторін тарелі 4. Шляхом же послідовного повороту тарелі 4 на деякий кут знос тарелі 4 здійснюється рівномірно по всій поверхні, чим забезпечується більш висока надійність роботи клапанного вузла.

Під час тривалішої експлуатації універсальних клапанів із гумовими герметизувальними кільцями було встановлено, що їхній ресурс виявився недостатнім. Особливо часто виходили з ладу гумові герметизувальні кільця під час відкачування високосірчистих нафт за наявності сірководню. У цих випадках гума втрачала свою еластичність і руйнувалася під дією рухомої

втулки, що розпирає герметизувальний елемент. Тому було ухвалено рішення для виготовлення герметизувального кільця використовувати поліуретан, який широко застосовують у різних галузях промисловості і має підвищену стійкість до сірководню.

У серійних насосах застосовуються кулькові клапани як всмоктувальні, так і нагнітальні. Зважаючи на їхню уявну простоту і надійність, вони не змінилися конструктивно за багато років експлуатації, незважаючи на низький коефіцієнт наповнення, що не перевищує 0.5 у багатьох регіонах.

Збільшення коефіцієнта наповнення насоса можливе під час модернізації клапанних вузлів. Для цього необхідно виключити застосування сферичної форми клапана, оскільки кульковий запірний елемент забезпечує герметичність порожнини за лінійним принципом торкання сфери з посадковим конусом сидла. Найменша зміна форми кулі через зношування і корозію порушує герметичність клапана.

Модернізованим вузлом у кваліфікаційній роботі є всмоктувальний клапан.

Модернізація полягає у використанні клапана коркового типу.

Клапан застосовується для збільшення коефіцієнта наповнення насоса без збільшення його занурення під динамічний рівень. У результаті досягається:

- збільшення подачі насоса без збільшення енерговитрат;
- зменшення навантаження на штангову колону і можливість застосування більш інтенсивних режимів відкачування води без збільшення обривності колони штанг.

Методи і можливості щодо підвищення надійності клапанного вузла вельми різноманітні і пов'язані з усіма етапами проєктування, виготовлення та експлуатації. Заходи, що проводяться в цій галузі, поділяються на кілька напрямів.

Один з основних напрямків - підвищення стійкості виробів до зовнішніх впливів. Сюди відносяться методи створення міцних жорстких, зносостійких

вузлів завдяки їхній раціональній конструкції, застосування матеріалів з високою міцністю, зносостійкістю, теплостійкістю, антикорозійністю та ін.

Цей напрямок об'єднує всі новітні досягнення в галузі конструювання та технології, які дають змогу збільшувати стійкість вузлів і механізмів щодо впливів, які характерні для цього типу обладнання.

Ці методи тісно пов'язані із завданнями, що постають перед конструкторами, технологами та експлуатаційниками не тільки у зв'язку з надійністю, а й у разі необхідності забезпечувати задані технічні характеристики виробу, підвищувати продуктивність і швидкохідність машин, зменшувати їхню металоємність і габарити.

До методів підвищення опірності машини зовнішнім впливам відносяться, наприклад, вибір зносостійких матеріалів, зменшення навантажень, що діють на механізм, застосування зміцнювальної технології, виключення впливу технологічної спадковості та ін.

Однак можливості опору зовнішнім впливам не безмежні. Немає матеріалів, що абсолютно не зношуються, і практично неможливо забезпечити у всіх механізмах тільки рідинне тертя, немає матеріалів, які не деформувалися б і не змінювали своїх розмірів під час коливання температури тощо.

Якщо до цього додати, що завжди є джерела зовнішніх і внутрішніх впливів на машину і що вимоги до її вихідних параметрів весь час підвищуються, можна сказати, що зазначені методи підвищення надійності необхідні, але не достатні. Вони обмежені рівнем розвитку тієї чи іншої галузі техніки.

Для цієї конструкції клапанного вузла можна запропонувати низку конструктивних змін з метою підвищення надійності. Це вибір матеріалу і відповідних способів поліпшення його характеристик.

Важливим суттєвим фактором підвищення надійності насоса є правильний монтаж обладнання та проведення обкатки без прикладання навантаження.

До заходів, що так само сприяють підвищенню надійності, належать:

- визначення досягнутого рівня надійності виробів;
- встановлення характеру і причин відмов;
- виявлення елементів, що ненадійно працюють, і комплектувальних виробів, що лімітують надійність виробу;
- визначення оптимальних термінів проведення технічного обслуговування і ремонту виробів;
- встановлення оптимальних норм витрат запасних частин.

Циліндр насоса піддається дії внутрішнього тиску, що змінюється від нуля до максимального значення, під дією якого в тілі насоса виникають тангенціальні та радіальні напруження. Максимальні напруження можна визначити залежно від співвідношення внутрішнього r_2 і зовнішнього r_1 радіусів циліндра:

при $r_1 > 1,1r_2$

$$\sigma_r = \frac{p_2 r_2^2}{r_1^2 - r_2^2} \left[1 - \frac{r_1^2}{r^2} \right] = \frac{2,74 \times 10^6 \times (0,032)^2}{(0,041)^2 - (0,032)^2} \left[1 - \frac{(0,041)^2}{(0,045)^2} \right] = 0,73 \text{ МПа} \quad (3.1)$$

$$\sigma_t = \frac{p_2 r_2^2}{r_1^2 - r_2^2} \left[1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right] = \frac{2,74 \times 10^6 \times (0,032)^2}{(0,041)^2 - (0,032)^2} \left[1 + \frac{(0,032)^2}{(0,045)^2} \right] = 6,43 \text{ Мпа}, \quad (3.2)$$

де p_2 - внутрішній тиск;

r - поточне значення радіуса.

Величину $\sigma_{\text{екв}}$ визначають за третьою теорією міцності

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_r^2 + 4\sigma_t^2} = \sqrt{(0,73)^2 + 4 \times (6,43)^2} = 12,88 \text{ Мпа} \quad (3.3)$$

$$\sigma_{\text{екв}} \leq [\sigma] = 1100.$$

Товщина стінки корпусу:

$$\delta = \frac{D_n - D_{\text{в}}}{2}, \quad (3.4)$$

де D_n - зовнішній діаметр корпусу;

$D_{\text{в}}$ - внутрішній діаметр корпусу.

$$\delta = \frac{0,057 - 0,045}{2} = 0,006 \text{ м}$$

Площа кільцевого перерізу корпусу:

$$F = \frac{\pi}{4}(D_n^2 - D_s^2) = \frac{\pi}{4}((0.057)^2 - (0.045)^2) = 9.6 \times 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (3.5)$$

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = 1100 \text{ МПа}.$$

Допустимий тиск:

$$P_{\text{дон}} = F \times [\sigma] = 9.6 \times 10^{-4} \times 1100 \times 10^6 = 1056.95 \text{ МПа}. \quad (3.6)$$

Розглянемо три типи клапанних вузлів: стандартний, клапан Костиченка і вдосконалений. Для всіх типів клапанних вузлів задано однаковий зовнішній діаметр (отже, і внутрішній діаметр d) за однієї й тієї ж товщини стінки. Потрібно знайти взаємозв'язок між заданим внутрішнім діаметром і діаметром сідла d_c для розглянутих типів клапанних вузлів.

На першому етапі розглянемо стандартний клапанний вузол і клапан Костиченка. Уведемо такі позначення (рис. 3.2): f_1 - площа поперечного перерізу отвору сідла клапана; f_2 - площа поперечного перерізу кульки; f_3 - площа поперечного перерізу клітини; f_4 - площа поперечного перерізу для проходження рідини після її проходження в сідлі (обтікання кульки і клітини).

Площа f_1 є функцією від діаметра кульки $d_{\text{ш}}$ (або її площі поперечного перерізу): для стандартних клапанних вузлів $d_c / d_{\text{ш}} = 0.865$ для клапана Костиченка $d_c / d_{\text{ш}} = 0.8$.

Ввівши позначення $d_c / d_{\text{ш}} = K_c$, виразимо площу отвору сідла через діаметр кульки:

$$f_1 = \pi \frac{d_{\text{ш}}^2 K_c^2}{4}. \quad (3.7)$$

Своєю чергою, площа поперечного перерізу клітини також є функцією діаметра кульки, оскільки, що більша кулька, то більшою шириною Δ і товщиною δ мають бути у клітині, щоб мати запас за міцністю та зношуванням.

Практичні виміри розмірів стандартних клапанних вузлів показують, що це співвідношення:

$$K_k = \frac{f_3}{f_2} = 0.12.$$

Без урахування особливостей течії рідини в клапанному вузлі визначимо умови, за яких площа поперечного перерізу каналів для проходження рідини після сідла буде принаймні не меншою за площу поперечного перерізу самого сідла, тобто дотримуватиметься умова $f_4 \geq f_1$. У свою чергу f_4 можна знайти як різницю між f , f_2 і f_3 , тобто $f_4 = f - f_2 - f_3$. З урахуванням виразу для K_k отримаємо:

$$f_4 = f - \frac{\pi d_u^2}{4} - K_k \frac{\pi d_u^2}{4}. \quad (3.8)$$

Прирівнюючи f_1 і f_4 та беручи до уваги рівняння, запишемо:

$$\frac{\pi d_u^2 K_c^2}{4} = f - \frac{\pi d_u^2}{4} - K_k \frac{\pi d_u^2}{4}. \quad (3.9)$$

Враховуючи, що $f = \pi d^2 / 4$ і провівши перетворення, отримаємо:

$$\pi d_u^2 K_c^2 + (K_c^2 + 1 + K_k) = d^2. \quad (3.10)$$

Співвідношення визначає умову рівнопрохідності для клапана класичної схеми. З урахуванням наведених співвідношень маємо:

а) для стандартних клапанних вузлів:

$$d_u (0.865^2 + 1 + 0.12) = 1.87 d_u^2 = d^2. \quad (3.11)$$

Оскільки $d_c = d_u K_c$, $d_c = 0.63d$;

б) для клапана Костиченка:

$$d_c = 0.6d. \quad (3.12)$$

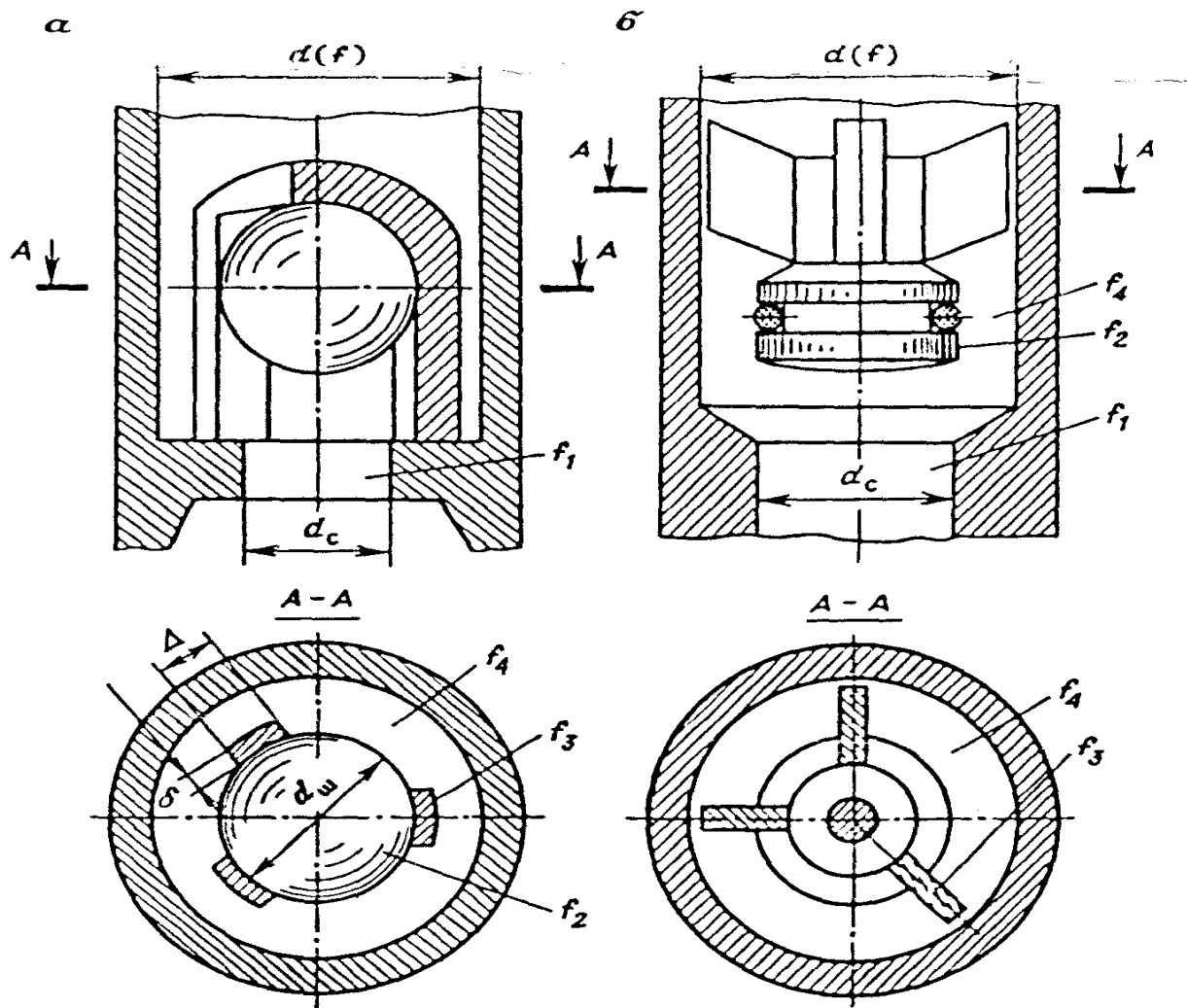


Рис. 3.2: а - стандартний клапан; б - удосконалений клапан

Аналогічні міркування для вдосконаленого клапана проведено за схемою, представленою на рис. 3.2,б. У цьому разі центратор клапана, що виконує функцію клітки і розташований вище запірного елемента, не займає кільцевий простір між корпусом і запірним елементом.

Виходячи з рис 3.2,б, $f_4 = f - f_2$. Підставляючи цей вираз у рівність $f = f_4$ і виражаючи через діаметри, отримаємо:

$$d_c = \sqrt{2}d = 0.71d. \quad (3.13)$$

Результати розрахунків показують таке:

а) для стандартних клапанних вузлів: $d_c = 0.63d$, $f_1 = 0.397f$;

б) для клапана Костиченка: $d_c = 0.6d$, $f_1 = 0.36f$;

в) для вдосконаленого клапана: $d_c = 0.71d$, $f_1 = 0.5f$.

Таким чином, удосконалений клапан дає змогу істотно збільшити площу поперечного перерізу сідла клапана і, отже, зменшити його гідравлічний опір. У зв'язку з цим розроблені вдосконалені клапани необхідні для відкачування води, там, де використання серійних кулькових клапанів істотно знижує коефіцієнт наповнення насоса.

Промислові випробування в різних умовах підтверджують отримані розрахункові результати. Як правило, під час заміни кулькового клапанного вузла універсальним подача насоса зростає без зміни режиму його роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему "Підвищення надійності та довговічності системи зрошення шляхом удосконалення технологічного процесу збору стічної поливної води" було проведено комплексне дослідження, спрямоване на вирішення актуальної проблеми забезпечення сталого функціонування зрошувальних систем у сільському господарстві.

Отримані результати та проведений аналіз дозволяють сформулювати наступні висновки. Підвищення надійності та довговічності систем зрошення є критично важливим для сталого сільськогосподарського виробництва, особливо в умовах водного дефіциту та зміни клімату, оскільки зрошувальні системи відіграють ключову роль у забезпеченні стабільності врожаїв, але їхня ефективність часто знижується через втрати води та знос обладнання. Удосконалення технологічного процесу збору стічної поливної води є перспективним напрямком, що дозволяє не лише підвищити ефективність використання водних ресурсів, але й подовжити термін служби обладнання.

Стічна поливна вода містить поживні речовини та інші корисні компоненти, які можуть бути повторно використані, що сприяє економії ресурсів та зниженню витрат на добрива, а впровадження сучасних методів фільтрації, очищення та рециркуляції води забезпечує раціональніше використання водних ресурсів і зниження навантаження на природні екосистеми.

Застосування автоматизованих систем моніторингу та контролю за якістю води дозволяє вчасно виявляти та усувати проблеми, пов'язані з забрудненням або невідповідністю параметрів води, що підвищує надійність роботи систем і оптимізує управління водними ресурсами, особливо в регіонах з обмеженими водними запасами. Використання інноваційних корозійностійких матеріалів та конструкцій у системах збору стічної води знижує знос і корозію, подовжуючи термін служби обладнання та зменшуючи частоту ремонтів і замін. Інтеграція систем збору стічної води з іншими технологічними процесами, такими як

компостування або виробництво біогазу, створює додаткові економічні та екологічні вигоди, дозволяючи отримувати енергію або органічні добрива.

Впровадження удосконаленого технологічного процесу вимагає ретельного планування, врахування місцевих умов і потреб, а також навчання персоналу, від кваліфікації якого залежить успішна експлуатація нового обладнання. Економічна ефективність удосконалення процесу збору стічної води підтверджується зниженням експлуатаційних витрат і підвищенням продуктивності системи, що окупає початкові інвестиції.

Екологічні переваги включають зниження забруднення водних ресурсів, збереження природних екосистем та сприяння сталому розвитку сільськогосподарських територій, що є особливо актуальним в умовах посилення екологічних вимог.

Загалом, удосконалення технологічного процесу збору стічної поливної води сприяє не лише економічній вигоді для сільськогосподарських підприємств, але й сталому розвитку аграрного сектору в цілому, а отримані результати можуть бути використані для розробки практичних рекомендацій щодо модернізації зрошувальних систем та впровадження інноваційних технологій у сільському господарстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аверков В. М. Раціональне використання водних ресурсів у зрошуваному землеробстві. Київ : Аграрна наука, 2018. 340 с.
2. Бабій А. В., Глушко Л. Г. Технологічні аспекти збору та повторного використання зрошувальних стоків. // Водне господарство України. 2022. № 1. С. 45–53.
3. Бойко О. В. Надійність і довговічність гідромеліоративних систем. Херсон : ХДАУ, 2017. 290 с.
4. Василенко В. І. Оцінка якості дренажних вод і можливості їх реутилізації для зрошення. // Меліорація і водне господарство. 2021. Вип. 2. С. 67–74.
5. Гриценко Р. Д. Методи управління водними ресурсами зрошуваних земель. Вінниця : ВНАУ, 2019. 250 с.
6. Демченко І. С., Калашник П. М. Моделювання процесів фільтрації та відтоку зрошувальних вод. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Технічні науки. 2023. Вип. 280. С. 112–119.
7. ДСТУ 3574-97. Водне господарство. Терміни та визначення основних понять. Київ : Держстандарт України, 1997. 32 с.
8. Запорожець А. В., Нечипоренко О. Г. Аналіз впливу складу стічних вод на корозійну стійкість елементів зрошувальних систем. // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агроінженерія. 2020. № 3. С. 88–95.
9. Іванов П. С. Проектування та експлуатація дренажних систем. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. 380 с.
10. Климчук О. С. Удосконалення технологій збору та очищення стічних вод для сільськогосподарського використання. // Екологічна безпека та природокористування: збірник наукових праць. Київ, 2022. С. 156–162.

11. Ковальчук В. І. Основи гідравліки та гідрології. Одеса : ОДАБА, 2015. 310 с.
12. Кудрявець О. С., Морозюк Р. П. Системи моніторингу якості поливної води та її стоків. // Аграрна наука і освіта. 2021. № 4. С. 78–85.
13. Левченко Т. М. Ресурсозберігаючі технології зрошення. Дніпро : ДДАЕУ, 2019. 260 с.
14. Мазур О. С. Техніко-економічне обґрунтування застосування систем повторного використання зрошувальних вод. // Наукові записки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. 2023. № 1. С. 99–106.
15. Михайленко Г. І. Очищення стічних вод. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. 420 с.
16. Нестеренко Л. В., Смірнов С. Д. Оцінка довговічності елементів зрошувальних мереж в умовах агресивного середовища. // Проблеми водопостачання, водовідведення, гідравліки та гідроенергетики. 2022. № 1(39). С. 13–20.
17. Олійник В. Б. Меліоративні системи та споруди. Рівне : НУВГП, 2018. 370 с.
18. Пристрій для збору та очищення поверхневих вод з поливних ділянок. Пат. 123456 Україна, МПК E02B 13/00. Автор(и) патенту: Романенко С. П., Федорчук Г. А. № u202301234; заявл. 01.02.2023; опубл. 15.08.2023, Бюл. № 16.
19. Савченко Д. Л. Забезпечення якості води в іригаційних системах. Одеса : ОДАБА, 2020. 280 с.
20. Ткаченко О. М. Методологія підвищення надійності гідромеліоративних систем. // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки. 2021. № 1(93). С. 5–12.
21. Шульга В. Г. Експлуатація меліоративних систем. Київ : Аграрна освіта, 2016. 330 с.